

LES ONDES MECANIQUES

I. Propagation d'une perturbation

1. Définition et exemples

⚠ Définition :

- Une perturbation est une variation d'une propriété mécanique (position, vitesse, énergie) des points d'un milieu matériel.
- Le point où est créée la perturbation est la source.

Exemples :

- ébranlement le long d'une corde ;
- la chute d'une goutte produit des ronds à la surface de l'eau de la cuve à ondes.

2. Ondes mécaniques

⚠ Définition :

Une onde mécanique est le phénomène de propagation d'une perturbation dans un milieu matériel sans transport de matière.

Exemple :

- Un cavalier en papier placé sur une corde montre que chacun des points de la corde s'écarte de sa position d'équilibre au passage de la perturbation et revient à sa position d'équilibre après le passage de la perturbation.
- Il n'y a pas de transport de matière, contrairement au déplacement d'une voiture d'une ville A à une ville B.

II. Propriétés des ondes mécaniques

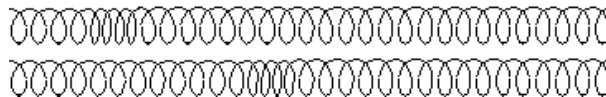
1. Mécanisme de propagation

⚠ Propriété

Une onde mécanique se propage de proche en proche dans le milieu matériel.

Exemple : pour le ressort, si on comprime quelques spires et qu'on les libère, elles reviennent à leur position d'équilibre en se détendant. Lors de cette détente, elles compriment les spires suivantes et ainsi de suite.

→ direction et sens de propagation



2. Direction de propagation

⚠ Propriété

Une onde mécanique se propage à partir de la source dans toutes les directions qui lui sont offertes.

Exemples :

- Dans le cas d'une onde le long d'une corde (ou d'un ressort), la déformation se propage de proche en proche le long de la corde (ou du ressort) : l'onde a donc **1 dimension** ;

de longues distances : il s'agit d'une onde à **2 dimensions** ;

- Dans le cas d'un séisme, en profondeur, les roches couissent les unes sur les autres et provoquent des ondes sismiques qui se propagent dans toutes les directions : il s'agit d'une onde à **3 dimensions**.

3. Transport d'énergie

⚠ Propriété

Une onde mécanique transporte de l'énergie sans transport de matière. Elle a été fournie par la source au milieu matériel.

Exemple : pour l'échelle de perroquet, on écarte le barreau de sa position d'équilibre et on le lâche.

Quand la main écarte le barreau de sa position d'équilibre, elle lui fournit de l'énergie.

Quand ce barreau libéré revient à sa position d'équilibre, il donne de l'énergie au barreau suivant qui s'écarte à son tour de sa position d'équilibre et ainsi de suite.

4. Superposition d'ondes

⚠ Propriété

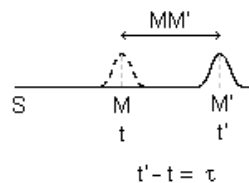
Si on crée deux ébranlements **transversaux** aux deux extrémités d'une corde, les deux perturbations se propagent. Quand elles se croisent, leurs amplitudes s'ajoutent algébriquement.



Remarque : deux ondes mécaniques peuvent se croiser sans se perturber.

III. Célérité d'une onde

1. Vitesse de propagation dans un milieu matériel



- La perturbation en M' à la date t' est celle qui existait en M à la date $t = t' - \tau$.
- La perturbation s'est propagée de M en M' pendant la durée τ en parcourant la distance $d = MM'$.

⚠ Sa célérité est :

$$v = \frac{d}{\tau} = \frac{MM'}{t' - t}$$

2. Influence des propriétés du milieu

Propriété

- La célérité d'une onde mécanique dans un milieu matériel ne dépend pas de l'amplitude de la déformation.
- Elle est caractéristique de ce milieu.

IV. Les ondes sonores

1. Nature de la perturbation

- Considérons la propagation d'un son audible dans l'air. L'air est un milieu matériel **compressible** et **élastique**.
- On observe que la membrane d'un haut-parleur vibre en même temps qu'un son est émis.
- En avançant, la membrane comprime les molécules d'air voisines de la surface de la membrane. L'air comprimé pousse l'air qui l'entoure.
- Ainsi **cette compression ou variation de pression se propage de proche en proche**, dans les 3 directions : ce sont donc des ondes à 3 dimensions).

2. Propriétés du son

Propriété

- La propagation d'un son nécessite un milieu matériel. En effet, le son ne se propage pas dans le vide (qui n'est pas un milieu matériel).
- Le son transporte de l'énergie de l'émetteur (haut-parleur, cordes vocales, ...) vers le récepteur (oreille, microphone, ...).

3. Célérité du son

Propriété

La célérité du son dépend du milieu de propagation.

Exemples :

- dans l'air :
 - * à la température ambiante 20°C, $v = 340 \text{ m.s}^{-1}$;
 - * à la température ambiante 0°C, $v = 331 \text{ m.s}^{-1}$;
- dans l'eau, $v = 1,50.10^3 \text{ m.s}^{-1}$;
- dans le cuivre, $v = 5,01.10^3 \text{ m.s}^{-1}$;
- dans le fer, $v = 5,95.10^3 \text{ m.s}^{-1}$.

V. Ondes progressives à une dimension

1. Ondes mécaniques à une dimension

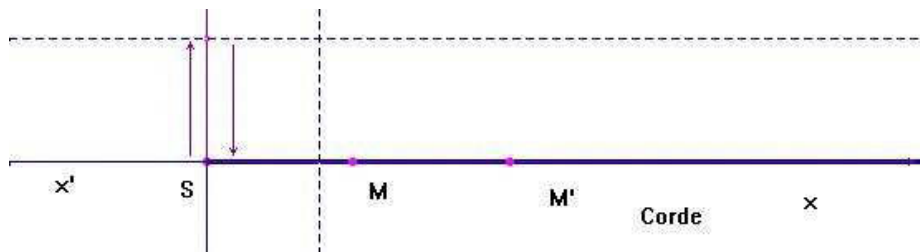
Rappel

Une onde mécanique à une dimension est une onde qui ne se propage que dans une seule direction.

Exemple : ondes qui se propagent le long d'une corde ou d'un ressort.

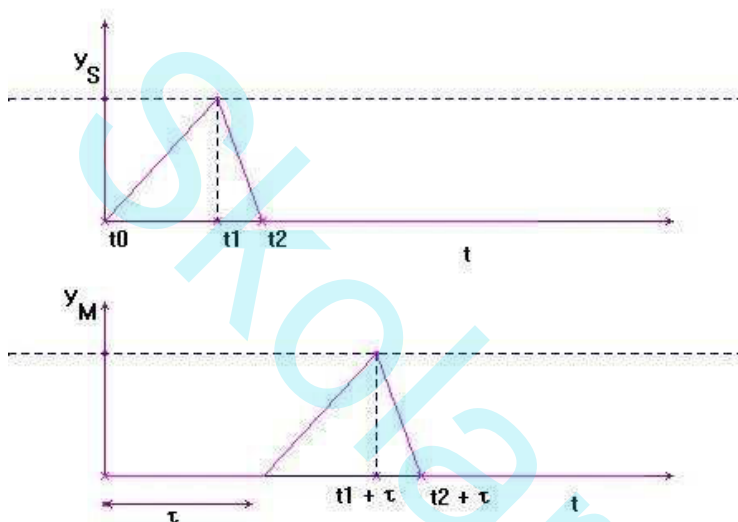
2. Mouvement de la source

Par exemple sur une corde horizontale :



3. Mouvement d'un point M du milieu matériel

- la perturbation créée en S se propage de proche en proche dans tout le milieu matériel.
- tout point du milieu matériel subit la même perturbation mais pas au même instant.
- Le point M est situé à la distance x_M de la source S ; si la célérité de l'onde est v , le mouvement de M commence avec un retard τ sur celui de S .



⚠ Définition

Le retard τ peut s'exprimer de la façon suivante :

$$\tau = \frac{x_M}{v}$$

- Si l'équation du mouvement de la source S est $y_S(t)$, alors l'équation du mouvement de M est :

⚠ Expression

$$y_M(t) = y_S(t - \tau)$$

VI. Les ondes progressives périodiques

1. Notion d'ondes progressives périodiques

⚠ Définitions :

- Un phénomène est périodique dans le temps s'il se répète, identique à lui-même, régulièrement au cours du temps.
- La période temporelle ou période T d'un phénomène périodique est la plus petite durée au bout de laquelle le phénomène se reproduit identique à lui-même.
- La fréquence du phénomène périodique est $f = \frac{1}{T}$
(la fréquence est le nombre de fois que le phénomène périodique se reproduit, identique à lui-même, pendant une seconde).
- Une onde progressive est périodique si, en un point quelconque du milieu de propagation, l'onde est périodique au cours du temps.

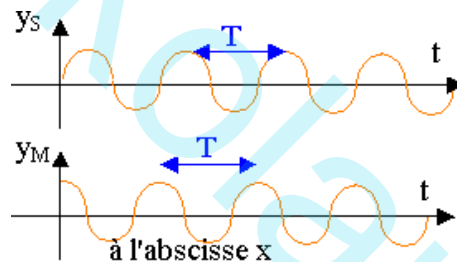
Exemples :

- onde progressive le long d'une corde si on agite une extrémité de la corde tendue de façon périodique ;
- onde progressive périodique à la surface de l'eau ;
- onde sonore sinusoïdale émise par un diapason.

2. Double périodicité des ondes progressives périodiques

a. Périodicité temporelle

En chaque point du milieu de propagation, l'onde progressive périodique a la même période temporelle T que la source.

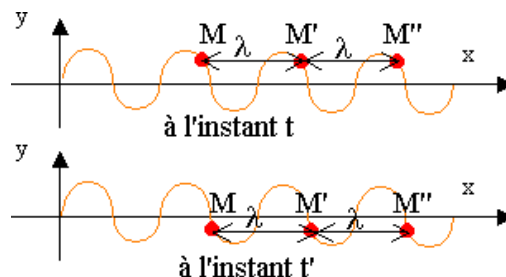


b. Périodicité spatiale

Grâce à un **stroboscope**, on peut "figer" l'aspect de la corde ou de la surface de l'eau de la cuve à onde. On constate que l'onde se répète à des intervalles de distance égaux.

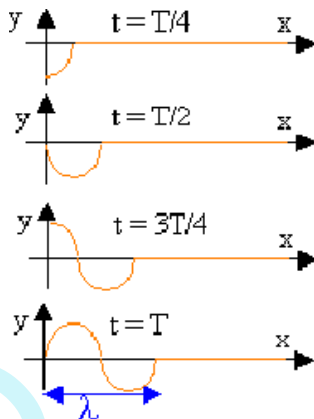
⚠ Définition

La période spatiale ou longueur d'onde λ d'une onde progressive périodique est la plus courte distance de répétition de cette onde.



À chaque instant, des points du milieu matériel atteints par l'onde, séparés par un nombre entier de longueur d'onde, ont le même état vibratoire.

Aspect de la corde à différents instants :



c. Relation entre la période temporelle T et la période spatiale λ

⚠ Définition :

- La période spatiale ou longueur d'onde λ d'une onde progressive périodique est la distance parcourue par cette onde pendant une période temporelle T .
- Si v est la vitesse de propagation de l'onde, alors :

$$v = \frac{\lambda}{T} \Leftrightarrow \lambda = v \times T$$

Remarques :

- la fréquence f et donc la période $T = \frac{1}{f}$ est **caractéristique de l'onde**.
- la célérité v de l'onde **dépend du milieu de propagation** \Rightarrow la longueur d'onde λ **N'EST PAS caractéristique de l'onde**.

⚠ Rappel :

$$\lambda = v \times T \text{ et } T = \frac{1}{f} \text{ donc } \lambda = \frac{v}{f}$$

3. Ondes progressives sinusoïdales

a. Notion d'onde progressive sinusoïdale

⚠ Définition

Une onde progressive est sinusoïdale si, en tout point M du milieu de propagation, l'onde est une fonction sinusoïdale du temps

[b]Exemple[/b] : une onde sonore émise par un diapason.

b. Période et fréquence de l'onde sinusoïdale

Une onde progressive sinusoïdale est périodique. Sa période est T . Sa fréquence f est le nombre de périodes contenues en une seconde.

⚠ Rappel

$$f = \frac{1}{T} \iff T = \frac{1}{f}$$

3. Longueur d'onde**⚠ Définition :**

- La longueur d'onde λ d'une onde sinusoïdale est sa période spatiale.
- La longueur d'onde λ est la distance parcourue par l'onde sinusoïdale pendant une période T de cette onde sinusoïdale :

$$\lambda = v \times T = \frac{v}{f}$$

À une date t donnée, les points du milieu de propagation séparés par un nombre entier de longueur d'onde λ sont dans le même état (en phase).

Exemple : à la surface de l'eau, l'onde avance de λ pendant une durée T .